

电子工业技术词典

系统工程

国防工业出版社

K
73.6072
174.3
C.2

电子工业技术词典

系 统 工 程

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

31528/33



内 容 简 介

《电子工业技术词典》是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》(试用本)的基础上作了较大修改和增补而编写的。本《词典》是一本为广大工农兵和干部提供的深入浅出、简明实用的工具书。它也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌、扩大知识面时参考。

本《词典》共有三十四章。正文中各词汇后附有英文对照,书末附有英文索引,合订本中还附有汉字笔画索引。在出版合订本之前,将先分册出版。各分册所包括的章节内容和出版先后次序,将视具体情况而定。

本分册是《词典》第二十三章系统工程的内容,它包括:系统工程基本概念,系统工程举例,系统的组成,模拟与模型,系统工程的数学工具等五节。

电子工业技术词典

系 统 工 程

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张:15⁵/₈ 29 千字

1976年6月第一版 1976年6月第一次印刷 印数:00,001—28,000册

统一书号:17034·29-12 定价:0.21元

前 言

《电子工业技术词典》是在无产阶级文化大革命伟大胜利的鼓舞下，在学习无产阶级专政理论的热潮中，在电子工业发展的新形势下出版的。它是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》（试用本）的基础上编写的。

原《词典》自发行以来，曾受到广大读者的欢迎，为宣传、普及、推广电子技术知识起了一定的作用。十多年来，在毛主席革命路线的指引下，我国电子工业已有很大的发展，生产规模不断扩大，技术水平迅速提高，技术队伍日益壮大，电子技术的推广应用已引起国民经济各部门的重视，并在社会主义革命和社会主义建设中发挥出作用。目前，电子工业已成为国民经济的一个组成部分，电子工业战线的广大职工正在为实现第四届全国人民代表大会提出的宏伟目标而努力奋斗。为适应这一大好形势，更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，我们对原《词典》进行了一次较大的修改和增补。内容力求反映七十年代电子技术的水平，释文尽量做到简明、通俗。目的是为了向要求对电子工业技术有一般常识的广大工农兵和干部提供一本实用的工具书；同时也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌和扩大知识面时参考。

本《词典》共分三十四章。其目录如下：

- | | |
|-----------------|-------------|
| 一、电工基础； | 二、基本电子线路； |
| 三、网络分析与综合； | 四、电波传播与天线； |
| 五、信息论； | 六、电阻、电容与电感； |
| 七、厚薄膜电路； | 八、磁性材料与器件； |
| 九、电子陶瓷与压电、铁电晶体； | 十、机电组件； |
| 十一、电线与电缆； | 十二、电子管； |
| 十三、半导体； | 十四、电源； |
| 十五、其它元器件； | 十六、通信； |

(32286

十七、广播与电视;

十九、导航;

二十一、电子对抗;

二十三、系统工程;

二十五、微波技术;

二十七、红外技术;

二十九、电声;

三十一、声纳;

三十三、电子测量技术与设备;

十八、雷达;

二十、自动控制与遥控、遥测;

二十二、电子计算机;

二十四、电子技术的其它应用;

二十六、显示技术;

二十八、激光技术;

三十、超声;

三十二、专用工艺设备与净化技术;

三十四、可靠性。

各章互有联系,并尽量避免章节间词汇的重复,故每章只有一定的系统性。正文前有章节和词汇目录,正文中各词汇后附有英文对照,最后附有汉字笔画索引与英文索引。本《词典》将先分册出版,各分册所包含的章节内容和出版先后次序将视具体情况而定。各分册无汉字笔画索引。

本《词典》的编写工作,自始至终是在毛主席革命路线的指引下,在党的领导下进行的。贯彻了“独立自主,自力更生”的伟大方针,坚持了群众路线,实行了工人、干部、科技人员和生产、科研、教学两个三结合,以及理论联系实际的原则。《电子工业技术词典》本身就是广大群众集体智慧的结晶。它的编写过程也反映了无产阶级文化大革命后我国出版战线上的新气象。

由于我们水平有限,加上时间仓促,虽然作了很大努力,但《词典》中还可能存在不少错误和不妥之处,恳请广大读者及时批评指正。

《电子工业技术词典》编辑委员会

一九七五年十月一日

目 录

一、系统工程基本概念

系统工程.....	23-1	系统设计的最佳化.....	23-2
系统工程工具.....	23-1	系统性能指标.....	23-3
系统组成框图.....	23-2	系统可靠性.....	23-3
分系统.....	23-2	系统环境.....	23-3
信息流程图.....	23-2	系统试验.....	23-3

二、系统工程举例

数据收集管理系统.....	23-4	航行调度系统.....	23-6
情报系统.....	23-4	武器控制系统.....	23-6
雷达情报网.....	23-5	反弹道导弹系统.....	23-7
预警网.....	23-5	导弹外弹道测量系统.....	23-7
经营管理系统.....	23-5	星船跟踪测量系统.....	23-7
生产过程控制管理系统.....	23-5	跟踪和数据中继卫星系统.....	23-7
指挥控制系统.....	23-6	航天测控网.....	23-8
半自动化地面防空体系(赛其).....	23-6	靶场安全系统.....	23-8

三、系统的组成

信息获取.....	23-9	人-机系统.....	23-11
信息传输.....	23-9	人对信息的处理系统.....	23-11
信息处理.....	23-9	人工智能.....	23-11
处理结果输出.....	23-10		

四、模拟与模型

系统模型.....	23-12	模拟式模拟.....	23-13
系统模拟.....	23-12	数字式模拟.....	23-13
随机型模型.....	23-12	模拟-数字混合式模拟.....	23-13
确定型模型.....	23-13	有人系统的模拟.....	23-13
实体模型.....	23-13	系统环境模拟.....	23-14
数学模型.....	23-13	模拟设备.....	23-14

五、系统工程的数学工具

经营管理理论.....	23-15	运筹学.....	23-15
-------------	-------	----------	-------

对策论·····	23-15	非线性规划·····	23-17
博弈论·····	23-15	多级判决过程·····	23-17
极小化最大准则·····	23-15	动态规划·····	23-18
判决理论·····	23-16	最佳性原理·····	23-18
策略空间·····	23-16	排队论·····	23-18
准则函数·····	23-16	马尔科夫过程·····	23-19
线性规划·····	23-16	计划评审技术·····	23-19
单纯形方法·····	23-17	关键路方法·····	23-19

一、系统工程基本概念

系统工程

system engineering

由于工程技术的迅速发展,出现了一些成套的自动化设备,即所谓自动化系统。特别是电子数字计算机的出现与发展,使得自动化不仅限于生产或运动过程的自动化,而且在经营管理方面也出现了一些自动化的方法和设备,从而形成了一些既有控制功能又有管理功能的系统。系统工程就是在这种条件下产生和发展起来的一门工程技术。

系统的工作对象是能量、材料和信息,主要是信息。系统的工作主要是获得各项信息,进行判决,计算加工,然后输出必要的信息,显示给操纵管理人员作为判断情况的依据,或直接完成对有关设备的控制。

对系统的分析、综合、模拟、最佳化等比较理论性的技术是狭义的系统工程理论;为了合理地进行系统的研制、设计、运用等工作所采用的思想、程序、组织、方法等内容是广义的系统工程理论。系统工程不仅是技术问题,而且还与经济、经营、管理、社会、生理……等有联系。因此,系统工程中的一些理论和成就也可以应用于经营管理、交通业务、计划预算等领域。

系统工程的特征大致如下:

1. 它是由各项设备(或称硬件)联接起来所组成的。

2. 具有整体性,即各项设备有机地结合起来,充分发挥作用,并共同地完成规定的目的,也就是根据给定的输入信息和条件得到最合适的输出和效果。

3. 一般是规模大,设备多,有的分布地区很广。

4. 设备关系复杂,各个参数互相影响,并往往成非线性关系。

5. 从整体上看,多数是属于半自动性质的,即设备自动化地衔接起来,操纵人员主要是进行一些机器不能完成的管理判决功能和监视系统工作的情况,从而减轻了操纵人员具体繁琐的例行工作。

6. 系统的输入表现在时间、空间或数值上都具有随机性。

7. 在使用中要考虑对付一些有竞争或对抗性的情况,这一点在军用系统中特别明显。

8. 由于技术和使用要求的不断发展,系统总是处于不断地修改、补充和更换的过程中,所以设计上必须考虑可扩充性,建设过程要根据需要和可能分阶段地进行,一定时间达到一定的目标。

系统工程可能应用的范围甚广,例如工业生产过程的最佳设计和最佳控制;交通、电力或通信等网络的计划调度;企业或部门的统计、调度和分配;铁路或航运等方面的客票的预约、预定;气象或地震的预测、预报;以至于自动翻译、自动检索、语言识别或图形识别等方面。

系统工程的类型有:只对数据完成收集管理以便检索的数据收集管理系统;对各项情报进行计算、控制和传送的情报系统;用于计划和调度的经营管理系统;用于大型工厂的生产过程控制管理系统;用于军事方面的指挥控制系统和武器控制系统等。

系统工程工具

systems engineering tools

系统工程工具是指为了解决系统设计和

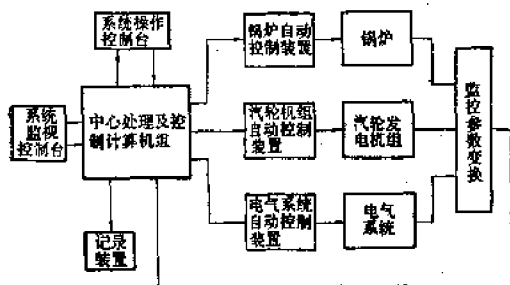
运用中的问题所使用的一些数学理论和技术方法。主要有：模型和模拟技术、概率论、信息论、对策论、运筹学、工程控制论等等。

系统组成框图

block diagram of system

系统组成框图是表示系统组成情况的一种简明方法，其目的是便于了解、论证、分析和组织管理等。

系统组成框图中应表示出组成系统的各站、点的布局，表示出组成系统的各项主要设备，表示出它们之间的连接关系，注明各项设备的名称、型号和数量，必要时还可以写明它们的主要作用。举例如下图，它为火力发电机组控制系统的框图。



火力发电机组控制系统框图

分系統

subsystem

一个大的系统往往划分成一些分系统,以便在设计时进行论证、组织实施和运用时便于管理。一般多按功能划分为一些分系统。典型的系统有下列几项分系统:

信息获取分系统，如果获取信息的设备有各种不同类型，也可以再按类型划分成分系统，例如雷达分系统；光学分系统等；

信息传输分系统:

信息处理分系统:

信息输出和显示分系统:

监测分系统:

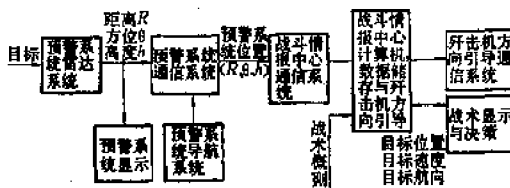
操作控制分系统等。

信息流程图

information flow chart

信息流程图是表现信息处理过程的框图，它说明信息在系统中经过各项设备或操作的变化情况，使人便于了解各项设备和要求的作用。

举例如下图，它为预警与引导系统的信息流程图。



预警与引导系统信息流程图

系统设计的最佳化

optimization of system design

系统的最佳设计是按照最佳控制、检测等理论所提供的某种最佳化准则为指导的系统设计。

系统设计的步骤大体上可归纳为：首先了解任务的目的、意义和要求，并对系统进行广泛的调查研究，在此基础上制定出系统设计的总体计划，其次是建立系统模型，对系统进行模拟试验与比较，从而获得切合实际情况的系统最佳设计方案。

在设计某一具体系统时必须考虑工程本身的许多实际情况，这些情况不可能都用数学方法来描述，因而理论上的最佳系统往往在实际上是容易实现的。但是，最佳系统的准则却可作为一个方向，使在考虑到一些具体的限制的基础上设计出实际上合用的系统，这种系统通常称为准最佳系统。

此外，系统的最佳设计是指系统的总体设计最佳，而不是各个局部的设计最佳。这是因为系统的效能是系统整体所表现的效能，系统的各个局部不一定能表现出系统的总体性能，有时甚至局部的最佳还会妨碍整体的最佳。

系统性能指标

system performance

由于各种系统的目的很不相同,因而很难列举出通用的性能指标做为各种系统设计、评价和鉴定的依据。一般地说,系统的性能指标有:作用距离及范围,处理的效果,处理的容量,处理的速度等(例如,精度、成功率、能处理多少批情报、处理一批情报平均有多少时间的延误等等)。由于一项系统工程总是不断发展的,所以还要包括与已有和今后的系统的兼容性、生存力和可扩充性等。

此外,还必须根据使用的要求和情况,考虑系统的经济性、可靠性、可维护性、可修性、可移动性、抗核能力等。对于重要国民经济部门和军事方面使用的系统,还必须考虑安全保密问题。

系统可靠性

system reliability

系统可靠性是指系统在规定的期间内,按规定时间在给定条件下完成规定作用的成功概率。因此,必须说明所要求的“工作时间”,“条件”和“成功的工作”的具体意义。系统有几类工作方式:有的是长期连续工作,有的是试验检查后工作一个短暂的时间,有的是一次使用后不再收回……等等,因此在可靠性的设计、测定和检验上都要根据具体情况做不同的考虑。可靠性的设计要从系统整体上考虑,例如恰当地分配各项设备的可

靠性指标、采取一些防止误操作的措施、发生故障时改正、修复和换用备份设备的措施,以及便于诊断的措施等。

系统环境

system environments

系统环境是指系统工作时所处环境和系统所要对待的环境。环境条件不仅对系统设备的结构性能和电气性能提出了一些要求,环境条件的参数有时还是系统的输入信息。例如飞行器的控制系统,就需要处理气压、风速等一些环境参数。又如气象情报网本身就是为了处理环境的参数。

系统试验

system testing

系统试验是指全部系统设备投入使用前的试验,目的是检验系统能否正常工作,并测定系统性能指标。大型系统的试验是一项比较复杂的组织管理工作。试验的过程包括:单项设备的试验,各项设备的联试,实际试验前的模拟试验,现场实际试验等等。试验条件的准备包括:各项物资器材的准备,有关文件、资料的准备,参加试验的人员的培训,使他们明确试验的目的、要求和自己的职责,熟悉他们在系统中所处的环境及其工作方式等。因此,在系统试验前必须制定试验大纲,进行系统试验的实施方案设计,以便保证系统试验的顺利进行和从试验中取得较多的有用数据。

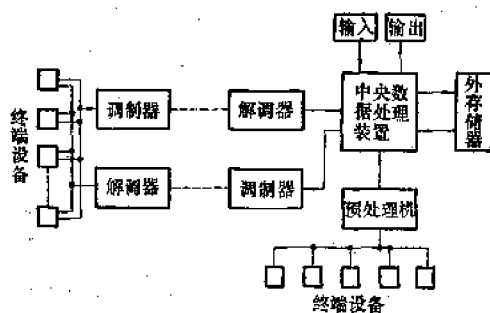
二、系统工程举例

数据收集管理系统

data management system

数据收集管理系统, 又叫做情报管理系统 (IMS)。它的工作方式是将数据 (或情报) 加上规定的标志记录在计算机的存储器中, 并按其类别、关系进行编辑、排列……, 需要的时候, 利用控制程序的功能进行检索, 以提高工作效率。

这类系统的特点是具有大容量存储的联机工作的实时系统。下面是它的组成方框图:



数据收集管理系统方框图

如上图所示, 在中央数据处理装置上接有较多的终端装置和大容量的外部设备。终端装置可以是打印记录设备, 也可以是显示设备。根据不同的情况, 终端装置装在远离中央数据处理装置的地方, 经各种通信信道 (公用的或专用的) 直接接到中央数据处理装置, 或是先部分地集中起来再接到中央数据处理装置。从各个终端来的情报, 随机地送到中央数据处理装置。中央数据处理装置收到情报后, 即根据要求进行检索, 求得解答后送回终端装置, 同时修正存储的数据, 进行管理上的必要统计, 必要时还应保存回答的情况, 以便管理人员处置。在复杂的数据处理系统中, 有时不只一台计算机, 而是

由几台计算机互相交换数据并分担处理工作。这种设备的要求是: 可靠性高; 人-机系统的终端装置要使不熟练的人也容易使用; 存储量大; 存储内容在发生故障时不会被破坏; 通信信道网的容量和数据处理的能力相匹配。

为了使复杂的装置能够工作, 需有较多的程序和适用的语言。

飞机、火车、轮船的订票系统, 图书馆的资料检索系统, 广播电台的自动广播控制管理系统等, 都属于这类数据收集管理系统。

情报系统

information system

在系统工程中, 往往将表达情况的信息, 叫做情报。对于将情况集中进行处理的系统, 叫做情报系统。

情报系统的作用是收集、传送、处理、计算、储存、检索各种有关信息, 以便迅速得出最适合的措施和方法。

这种系统在组成上与数据收集管理系统类似, 所不同的是, 信息来源比较复杂, 信息获取设备和手段的种类比较多。不只是以键盘或卡片作为数据传输手段, 由于及时性要求较高, 往往还有一些自动获取数据的手段。另外, 这些信息彼此之间有较密切的关系, 除了收集、编辑外, 还要进行判决、计算和整理。由于这种系统中, 各个站、点分布较广, 除了数据获取之外, 数据的传递需要有一个适合的通信网。建立这样的系统, 通信传输要占很大的比重。

在运用中, 要解决信息传输和处理的排队问题; 要解决数据的去伪存真和提高精度的问题; 也还要计算和处理求出便于应用

的所需数据。例如雷达情报网、气象数据网、地震预测预报系统等都属于这类情报系统。

雷达情报网

radar information network

雷达是对空监视的主要手段。要完成对整个国土的对空监视,及早发现敌方的入侵、侦察和骚扰,以及保证民航和空中通道的安全,必须根据地形和地理条件,布置成适合的雷达网,并对各个雷达站进行分级的指挥和管理。随着飞行器速度的日益提高,飞行器在空中的密度日益提高,雷达情报的传递和整理已从人工报话传递、人工标图整理逐步地过渡到自动地录取、传递和处理标图。

这一系统的组成包括,各种雷达构成的雷达站,连接各个雷达站和各级指挥所的通信网,以及各级指挥所的处理和指示显示设备。

由于各个雷达站的覆盖区不可避免地交错重叠,各个雷达站的情报也就不可避免地互相重复,这种重复是互相补充的。雷达情报的处理就是正确处理这种重复,并对雷达发现的目标予以分类、确认,区别出目标的性质,对目标进行跟踪,求出目标的速度、航向,估测其意图和威胁程度,计算防空武器的分配、拦截方案和点火时间,有时还必须完成部分目标的引导计算。同时将情况逐级上报并指挥所属台站,在对空监视中予以注意和采取措施。

预警网

early warning system

预警网也是一种雷达情报网,它所对付的目标主要是弹道导弹和卫星。在预警网中所使用的雷达一般是超远程的多功能的雷达。

预警网要求有良好的数据传递系统,以达到实时地、可靠地传送情报。预警网中的雷达及其数据处理系统应当能够自动处理大

量的目标数据,能够发现目标,确认目标,对目标进行分类,实现跟踪,提供目标的座标、运动速度、航向以及有关目标的特征数据。预警网还能够完成反弹道导弹武器系统的拦截方案的计算,以及具备某些自适应的功能。

经营管理系统

management system

经营管理系统是用于生产管理和生产计划的综合系统,它的目的是根据人员、设备、材料、资金、时间等条件进行恰当的组织,以获得最有效的利用。这一功能通常是由负责的人员根据条件,制订出各种经营管理方案,反复进行计算比较后求得最有效的方案而完成的。经营管理系统就是进行这种经营管理工作的工具。

这类系统的组成和数据收集管理系统没有什么太大的差别,因为这种系统在事实上必须包括数据的收集和管理。这类系统的主要问题是属于统筹运用上的问题。这种系统的特征有:它是计划、实施、管理系统,它的构成中必须有许多判决工作由人来组织完成,而这种判决工作多属于多级判决过程;这种系统多数是大规模系统并多半包括有情报系统的功能。

设计这样一种系统必须熟悉系统的运用条件,采用适当的模型,借助于系统模拟方法和系统工程工具来进行分析研究。例如,银行结算网,综合统计系统,物资调拨系统等都属于这类系统。

生产过程控制管理系统

industries process control system

石油、化工、钢铁、电力、纺织等行业的工厂的生产过程,是个复杂的处理过程。要做好物资、能量(电力、煤炭、石油等)、运输的调度工作,也要不断地对生产过程进行监测、调整、控制,以保证产品的质量和生产的高效率。生产过程控制管理系统就是

服务于这一工作的系统。它能处理生产过程中的和与生产有关的各项数据,整理和显示出来提供调度管理的方便;另外也能对生产过程实现一定程度的自动控制,如分配原料,控制原料的输入,控制和调整能量的供应等等。因此,这种系统中的信息获取设备往往是各种类型的传感器和敏感器;在处理控制部分必须有足够的数据存储来适应生产过程的时延特性和使其具有自适应能力;其执行机构也要适应所控制对象的特征和功率。

各类工厂的自动化控制调度系统都属于这类系统。

指挥控制系统

command and control system

指挥控制系统是出现较早的一种系统工程,例如第二次世界大战以后出现的半自动防空体系〔简称为赛其系统(SAGE)〕,就是这种系统在军事方面应用的一个例子。当时是为了解决军用防空情报的迅速传递和处理,显示出来供指挥参谋人员分析判断,组织兵力兵器进行拦截、防御和摧毁敌机。指挥控制系统随着技术的发展也逐渐用于国民经济部门。

指挥控制系统的特征是:分布在一定区域形成网络,在工作中不仅是收集情报,还要根据情况进行判决实施指挥控制,因此,实时性要求比较强。

系统的组成大致上包括:信息的获取、信息的传递、信息的外理等。由于具有上述

半自动化地面防空体系(赛其)

semi-automatic ground environment
(SAGE)

这一系统是以雷达和其他对空监视设备来的情报做为输入,经过处理,判断出敌机的可能意图,组织防空兵器,包括歼击机、高射炮、防空导弹进行拦截和射击,以摧毁敌方的兵力。在系统的组成上,有雷达网(包括警戒雷达和引导雷达等),连接雷达站和各级指挥所的通信网,防空兵器网(包括高射炮、导弹和歼击机),以及各级指挥所的处理和显示设备。

航行调度系统

air traffic control system

这是用于空中航行管制方面的一种系统,它的组成以导航设备、一次雷达、二次雷达做为主要的信息获取手段,用计算机做为信息处理工具。它的任务是:编制航行计划(包括定期的航班期表以及根据每天的气候条件和其他方面需要安排的航行计划),监视飞行情况,实施管制保证安全,引导飞机飞行、进场和着陆。

武器控制系统

weapon control system

武器控制系统是控制武器的运动和引爆,以使它能够有效地摧毁目的物的一种控制系统。目的物可以是静止的也可以是运动的,控制的武器可以是一件也可以是一组或一群。这种系统的输入信息主要是目标和武

反弹道导弹系统

anti-ballistic missile system

反弹道导弹系统的任务是拦截摧毁来袭的弹道式导弹所携带的核弹头。由于远程弹道式导弹常带有多种诱饵和干扰机等突防装置,反弹道导弹系统必须在很短的时间内完成对来袭弹头的及时发现,正确识别,稳准跟踪和有效拦截等各个战斗环节的任务。因此,反弹道导弹系统是由雷达、计算机、导弹等技术兵器组成的战略武器系统。

导弹外弹道测量系统

missile trajectory measurement system

导弹飞行的轨迹称为外弹道,有时简称弹道。表征这个轨迹的参数称为外弹道参数,它可以用某一直角坐标系中三个位置分量和三个速度分量即: $x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ 六个参数来表示。测量这些参数的系统称为外弹道测量系统。

外弹道参数一般不易直接测得。测量系统直接测量的量称为测量元素,测量元素经坐标变换和数据处理就可得到外弹道参数。主要的测量元素有距离、距离和、距离差、方向余弦、方位角、俯仰角以及它们的变化率。不同测量元素的组合可以构成不同体制的测量系统。主要系统体制有干涉仪、纯距离及距离率,纯距离和及距离和率(距离和及距离率) 纯距离差及距离差率系统 以及

星船跟踪测量系统

spacecraft tracking system

为了完成人造卫星和飞船的各项任务,必须建立相应的跟踪和数据获取系统。它的任务一个是跟踪,也即测量卫星和飞船的位置、速度等参数,主要用于轨道预报、入轨控制、变轨、定点保持、飞行制导、引导天线以及科学研究等。另一个是数据获取,即收集飞行器本身性能参数和各种科学试验数据。

星船跟踪测量系统通常由距离及距离率跟踪系统、测角系统(包括干涉仪、雷达和光学测角)、多卜勒系统、光学照像设备、用于数据获取的多频段遥测系统,以及相应的数据传输、数据处理、遥控、时统、通信等分系统组成。

星船跟踪测量系统根据任务对象及轨道特点大致可分为低轨道星船跟踪、同步卫星跟踪、月球飞船跟踪以及深空跟踪(指星际间跟踪)等。通常对这些系统都要求有跟踪、指令控制和数据获取能力。

跟踪和数据中继卫星系统

tracking and data relay satellite system (TDRSS)

目前所有地面跟踪测量系统的主要缺点,是不能对低轨道卫星和飞船进行连续跟踪和不间断通信。跟踪和数据中继卫星系统

地球配置等间距的三颗跟踪和数据中继卫星,就能对低轨道飞行器进行全程跟踪和通信,并且有可能获得比地面跟踪更高的精度。

航天测控网

space instrumentation and command network

航天测控网是指导弹、卫星、飞船等空间飞行器的跟踪测量、控制和数据获取系统的总称。它具有多种功能,能执行多种飞行试验任务。

航天测控网由无线电和光学设备组成的测量系统、数据处理系统、指挥控制系统、数据传输系统、遥测系统、时统通信系统以及其它辅助系统构成。

航天测控网必须考虑多种系统间在频率、信号形式、应答机、信息处理、传输、交换等方面建立恰当的联系,使整个网形成有机的整体,达到综合利用的目的。

靶场安全系统

range safety system

导弹在动力飞行段难免发生故障,特别是在试验阶段初期,故障更有可能发生。为确保安全,对故障弹必须及时采取措施,尽

可能在适当地区的高空将它炸毁。靶场安全系统的任务就在于:判断导弹故障;选择适当时机;发出炸毁命令将故障弹炸毁。

靶场安全系统主要由无线电外弹道测量系统、光学外弹道测量系统、数据传输系统、安全计算机、安全显示设备、安全遥控设备和时统等组成。外弹道测量设备实时测出导弹的轨道,并将测得的参数通过数据传输系统送入安全计算机。安全计算机根据预定的弹道判断导弹是否有故障,并将必要的计算结果送至安全显示设备显示出来。判断为故障弹时,由安全遥控设备向故障弹发射炸毁指令。

常用的故障判断准则有:

1. 管道判决

以预计的弹道为中心,划定一个允许弹道偏离的区域,叫安全管道。当实测导弹飞出安全管道时即判为故障弹。

2. 落点预示

安全计算机根据外弹道测量设备所测得的导弹在各时刻的座标、速度等参数,实时地算出各时刻对应的落点。若落点超出预定的区域则判为故障弹。

三、系统的组成

信息获取

information acquisition

信息获取是系统组成的第一部分。它的作用是将系统所需信息测定出来,变成数据形式,经传输线路或不经传输线路送给处理装置。

对于不同的系统,所需信息的来源和信息的性质极不相同。例如数据收集管理系统,所需信息比较简单,信息获取的过程只是将数据送入系统,所用的设备是打字机或键盘,或者是文字识别装置。而对于情报系统或生产过程控制系统等,所需信息是各种各样的物理量。测得这些物理量的装置叫做敏感器。例如为了得到运动物体的位置参数和运动参数,在系统中,根据不同情况使用各种雷达、声纳、红外装置或光学仪器。为了测得温度、压力、重量、流量等物理参数,使用各种传感器或换能器。对于不便于或不能直接测得的物理量,还需要采用遥测和遥感技术。

为了将这些信息变成数据形式,要对这些物理量根据精确度要求,进行量化,即模/数转换。

对于雷达、声纳等装置,由于原来的终端装置仅是为了便于人的观测,不能适应自动化的要求,需要进行“录取”或直接对雷达信号进行处理取得目标的位置参数。

除此之外,在信息获取部分中,一般还有时间统一系统(简称为时统系统),供给各站,取得统一的时间参数。

获取信息的方式,根据信息的性质和系统的总体要求,可以是随机获取,即由获取端根据信息的特性随机地获取信息;可以是询问获取,即根据处理的要求发出询问,获

取端答复并送出数据,例如二次雷达就是这种方式;也可以是按照规定的时间间隔和顺序进行定时的获取。

信息传输

information transmission

在系统中,为了各站之间进行联系和将数据互相传送,都有适当的通信系统用来进行信息传输。通信系统是由各种类型的信道组成的信道网。

信道是指连接两站间的信息通路,或者说,是连接两站设备间的信息通路。在自动化的系统中,信息通路除了各站间人员进行联系的电报或电话通路之外,主要是指数据传输通路,即能以系统要求的信息率传送数据的通路。

信道的构成包括收、发两端的接口设备和通信设备。通信设备可以是各种有线信道的载波机,也可以是各种无线信道的收发信机。接口设备中除有为了使两种设备相适应的线路之外,往往还有一些编码、检错、纠错措施,以提高传输中的可靠性。

根据系统的要求,在信道网中,有的信道是专用信道,有的信道是合用信道(即几个站集中起来合用一个信道),有的部分也可以根据需要使用公用信道;有的信道只能单方向传送信息,有的信道可以在双方向上传送信息;甚至还可以是回授信道或多路信道。为了提高信道网的利用率或保证传输可靠性,可以利用直接信道的方式,也可以利用迂回信道的方式。

信息处理

information processing

信息处理,就是将从获取设备传送来的

初始信息,以一定的设备和手段,按一定的目的和步骤,给以加工。它是系统的关键环节。处理的目的大致可归纳为:

1. 把信息的原始形式变换成便于观察、传送、分析或便于进一步处理的形式。
2. 筛选分类,提取主要的和有用的,滤掉无用的。
3. 编辑整理,压缩数量,提高质量。
4. 分析计算,或为执行机构提供控制信号,或为操作控制人员提供一定数量、质量和类型的信息,作为其了解系统运行状况和干预系统运行的判决依据。
5. 将一些不能再现或因系统参数不可控,致使变化范围很大的信息,集中并存储起来,作为事后分析的资料。

处理的步骤,除了获取、传输外,一般还有转换、集中、存储、翻译、恢复、编辑、简化、分析、计算、结果输出等。当然,有些场合只需其中的某几步。

处理设备,因信息输入类型和输出结果要求不同,种类繁多,有化学的、机械的、机电的、电子的、磁的、光的等,但计算机是最主要的处理设备。在大多数系统中,计算机不是一台,而是多台,它们按一定的目的和要求,以一定的联结形式,通过接口机(或接口设备)、终端机和软设备,有机地联结起来,形成一个处理系统。它们之中,有的是用来处理问题的这一部分,有的则处理问题的另一部分,有的是形成最后结果,有的则只作预加工。

根据被处理问题的特点和要求,处理方式可以是并行的,也可以是流水线的;可以实时,也可以事后处理。

并行处理是几台处理设备同时对几个不同问题进行处理,或对同一个问题的不同部分进行处理。这种处理方式,可大大提高处理速度。它特别适合于处理诸如相控阵雷达、声纳、原子核物理之类的本身就具有平行性

的问题。另外,也可利用信息多余度或部件多余度来提高系统的可靠性。

流水线处理是把几台处理机按照一台的输出是另一台的输入的方法排列起来,顺序地解决一个问题的各个部分。它适合于处理规律性不太强的问题。

在系统中需要处理的信息往往非常多,其中有的时间性很强则需要实时处理,有的则允许事后处理。

处理结果输出

output

系统工程中,根据需要对获取的信息进行各种方式的加工处理,处理的结果都将以必要的形式进行输出,由于需要输出的信息其性质及应用目的不同,因而采用的技术手段也不相同。

当输出的信息是控制某个或某些设备动作的指令时,则往往利用遥控设备来进行,这时遥控设备的任务是传输指令和控制执行机构完成预定的动作。根据控制方式的不同遥控分为无线和有线、模拟和编码、同步和非同步、实时和非实时、单向和反馈等类型。

在有人参预的各种实时控制系统中,为了协调人与机器的关系,便于人对系统的干预,许多输出信息(包括未经处理的信息)需要显示和指示出来。显示设备的主要功能是将信息以数字、文字、符号和图形等便于人眼直接观察的形式提供给操作控制人员,以使其能及时了解和判断系统情况,并根据需要采取必需的措施。阴极射线管(包括电视)显示器和各种大屏幕综合显示装置就是例子。而指示设备是将某些重要信息以简单、直观的方式提供给操作人员,常用的有灯光、仪器表头、数码管等。系统运行过程中,系统中的部件和设备甚至分系统会出现异常现象,当处理设备发现这种情况时就发出各种告警信号,报警装置多采用特殊的灯光(特殊颜色和闪烁光)和声音(特殊音

响)的形式,因为人对灯光及声音比较敏感。

为了存档和进一步的分析处理,有些信息需要采用记录设备作为输出手段。由于要记录的信息的性质(例如是数字的还是曲线和图形,信息量的大小等)和记录的目的不同,因此采用的记录设备种类很多:为了绘制曲线(一条或多条)常采用笔绘式记录仪;为了记录大量的数字和模拟信息和便于重复处理,多利用磁带机和穿孔输出设备;各种宽行打印机则便于打制表格;有时为了文献记录和图形的记录可采用摄影方式,记录的结果是胶卷,这种方式可直接观看并便于保存。

人-机系统

man-machine system

系统中除了某个环节可以是完全自动化之外,整个系统总是有人参预工作的,并且系统也是由人来管理的,这种系统就属于人-机系统。系统设计时,可以将人看做是一种单通道、传输容量受限制的信息处理环节。根据具体情况,要适当地考虑那些作用由机器完成实现自动化,那些作用由人完成。

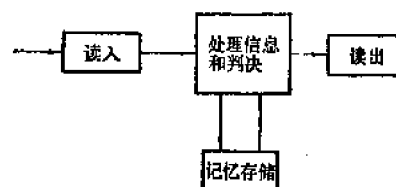
在人-机系统中,必须配备适当的显示设备,供人观察和监视系统的工作,以适合的形式显示出必要的信息,以便于人来分析、判断和处理。同时还必须配备人对机器进行控制和干预所必需的输入和操纵机构,使人和机器能相互作用。

人对信息的处理系统

human information-processing system

从信息处理的观点看,人可以认为是一

个信息处理环节。人对信息的处理系统可拟成如下的方框图:



人对信息的处理系统拟方框图

该系统包括读入、记忆存储、处理判决、读出四部分。读入主要靠视觉,有时也用听觉。读出主要靠手的动作或是靠语言。

为了研究和表示人的处理能力,提出了人工智能和知觉量度的问题,以便在具体的系统设计中,比较人和机器对某项具体工作那一种更合适和有效。

人工智能

artificial intelligence

人工智能是指计算机所能完成的信息处理能力,并将这种能力和人的处理能力相比较。例如对于复杂的计算和判决,计算机表现了快速准确的优越性,但是除了人要对计算机事先进行安排以外,还必须以编码形式用键盘、卡片、穿孔纸带等方法进行输入和输出,如采用绘图、书写文字、语言等形式就会有较大的困难,而人和人之间可以很多种方法进行信息交换。人工智能是研究计算机的更广泛的应用,例如目前正在开展的语言识别、声码转换、图形识别、图形文字显示等等都是这方面的研究。

四、模拟与模型

系统模型

system model

系统模型是为了便于对系统进行说明、研究和分析所采用的一种表示方法。系统模型可以表示系统的全部,也可以只表示系统的部分;可以表示系统的物理特性,也可以表示系统各个组成间以及系统和环境间的关系;可以表示系统工作的全部过程,也可以表示部分过程;可以用适当的数学形式和图表,也可以用适当的物理形式和实体。例如,说明系统的组成和其间的连接关系用系统组成框图,说明信息在系统中的变化过程用系统信息流程图,说明系统中某些过程用适当的数学表示式等等。组成框图、流程图、数学表示式等都可以叫做系统模型。

系统模型是系统工程的重要工具,有很多用途,但是它只能不同程度近似地表示原来的系统,使用系统模型时,应注意这种情况。

系统模拟

system simulation

系统模拟是用系统模型结合实际的或模拟的环境和条件,或是用实际的系统结合模拟的环境和条件进行研究、分析或试验的方法。目的是力求在实际系统建成以前取得近于实际的结果。系统模拟在系统工程中的主要应用有:

1. 估价系统的某一部分,例如传感器的预先设计的有效度的测定;
2. 估价系统各部分或各分系统彼此之间的影响,和对系统整体性能的影响;
3. 比较各种设计方案,以获得最适合的设计;

4. 在系统发生故障后使之重演,以便研究故障原因;

5. 进行假设检验;

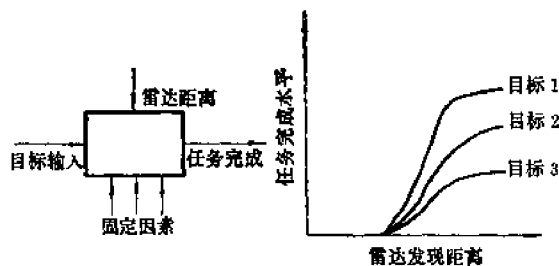
6. 训练系统操作人员等。

系统模拟的方法可以是实体模拟也可以是数学模拟。如果某一实体系统用遵守类似法则的另一实体系统来模拟时,就是实体模拟。如果模拟是以一个实体系统的数学模型为基础时,就是数学模拟。对一个大规模系统的模拟,往往将实体模拟和数学模拟结合起来使用。模拟过程可以是模拟式的,也可以是数字式的,也可以是数字和模拟混合式的。

随机型模型

stochastic model

系统中某些部件的响应或某些过程往往具有随机的性质。例如测量元件往往有随机性的测量误差;在有人系统中,人对事件反应的响应时间和对数值的判定都存在着随机性;在通信系统中存在着干扰和噪声,运输系统中的客运量和货运量,电力网的用电负荷等等本身就是随机过程,表示它们就应当用随机型模型。含有噪声源的模拟器、概率分布、频谱密度、马尔科夫链等都属于随机型模型。统计试验方法(蒙特-卡罗方法)可以用来确定系统响应的满意置信限。



雷达探测距离对完成任务的影响的模型示意图

上图是雷达探测距离对完成任务的影响的模型示意图。

确定型模型

deterministic model

以完全确定的基础构成的模型是确定型模型，代数式、微分方程、积分方程、传递函数等都属于确定型模型。“完全确定”是指从模型所得的结果可以表示实际系统的某些变量的统计平均值。

实体模型

physical model

按照原来事物或计划、设想中事物的形式做成的物品是原事物的实体模型。实体模型可以是原事物的比例缩小和性能简化，例如飞机模型、汽车模型、战场的模型——沙盘等；也可以是用另一种实体系统来代表原来的实体系统的某种性质，例如用电气振荡代表机械振荡，用电场代表其他的场等等。

数学模型

mathematical model

将系统有关的参数和因素及其相互关系，归纳成一个或一组数学方程，用来反映系统的性能，这个数学方程就是系统的数学模型。数学模型是更加抽象的模型，但是利用数学模型在研究系统的动态特性和随机情况时，提供了很多的方便。

模拟式模拟

analog simulation

用连续量或模拟式计算装置进行模拟，叫做模拟式模拟。可以是实体模拟也可以是数学模拟。模拟式模拟适合于非线性连续变量的系统。例如飞机的速度和高度，气体的温度等。离散的物理变量也可以看做是近似的连续变量进行模拟式模拟，它也适用于对操纵人员的实时模拟。它的缺点是由于技术上的原因，精确度较低，专用性较强。

数字式模拟

digital simulation

用离散量或数字式计算机进行模拟，叫做数字式模拟。可以有实体模拟和数学模拟，通常多半是数学模拟，用通用计算机进行。数字式模拟适合于离散信息和随机过程的模拟，尤其适合有判决功能的系统的模拟。对连续变量，可以通过采样和量化变成离散量。数字式模拟具有高精度的优点。

模拟-数字混合式模拟

hybrid analog-digital simulation

同时使用连续量和离散量的模拟，叫做混合式模拟，即在数字式模拟中用了模拟式方法，在模拟式模拟中用了数字式方法，通过模/数和数/模变换将模拟式设备和数字式设备连接起来。具体的系统，实际上也往往是模拟式和数字式相混合的，例如某些物理量本来就是连续量，只是通过变换变成了离散量。混合式模拟可以兼有模拟式模拟和数字式模拟的功能和优点。例如既有数字式计算机高精度、无漂移、有判决功能的优点，又有模拟式便于模拟参量变化速度快、各个量之间非线性复杂关系以及操纵人员的特性等优点。

有人系统的模拟

simulation of manned systems

研究有人系统是模拟技术的一个重要应用领域。有人系统一般是指人构成系统的一个环节，人要进行操纵或判决；或者是指人要在系统中，因而对系统的动作附加了一些限制。

有人系统的模拟具有无人系统的模拟的全部特点，此外，由于人的参预，还有以下的特点：

1. 随机性：例如同一操纵员对同一任务进行相继试验，具有变差，几个操纵员对同一任务进行试验，也有变差。人的反应能力部分地还要取决于人的主观因素。由于人的官能的随机性质，人的反应能力只有通过大量的模拟实验才能得到，其结果也只能看做

是具体的人的统计平均,因此对于有人系统的估价必须将人的因素包括在内。

2. 实时性:有人系统的模拟试验需要实时进行,不能像没有人的系统,模拟试验可以按时间比例加速进行。

3. 安全性:模拟试验必须避免危害参加系统试验的人员的身体健康。

有人系统的模拟有两种主要形式:即模拟系统工作的环境和条件,或是模拟有人系统中人的一些特性参数。前者要产生系统设计中所考虑的一个或几个不常见的环境条件,后者是要模拟人和设备之间的关系。

系统环境模拟

system environmental simulation

系统环境模拟是为了模拟系统所处的环境,用来检验系统中的部件或设备能否正确运行和安全工作,是否对人会有危险,或是

用来检验和测定系统的适应能力和系统中的人的适应能力,以及系统的使用效果。例如例行实验室、风洞、环境实验室等都属于系统环境模拟,它应根据需要模拟温度、气压、加速度、振动、失重等环境条件。又如飞行训练器(也可以叫做飞行模拟器)、雷达模拟器等则是用来使人适应系统工作的装置。

模拟设备

simulation equipment

各种用来进行模拟研究试验的设备,都可以叫做模拟设备。可以是专用的,也可以是通用的。可以是实体的或数学的,也可以是模拟的或数字的。现在,在很多情况下都用通用数字计算机做为模拟设备的一项组成。模拟设备不仅用于系统的设计和分析,也常常当做训练器用来训练操纵人员,如飞行训练器,雷达训练器等。

五、系统工程的数学工具

经营管理理论

management theory

一个系统在设计 and 实现的过程中,存在着大量的人力和物力的组织、调配、安排、管理等问题,研究这类问题的理论,叫做经营管理理论。

运筹学

operational research (OR)

运筹学是一门科学。在已给定的物质条件(人力、物力)下,用数学或其他方法研究如何对系统进行合理的安排与筹划,最大限度地挖掘现有的潜力,以便更好地为经济建设与国防建设服务,这就是运筹学这门学科的任务。在系统工程中,研究一个体系的合理安排与有效使用,是与运筹学有密切关系的。运筹学的主要模型有:分配模型、排队模型、更换模型、存储模型及竞争或对抗模型等。运筹学问题的求解往往需要复杂的计算,电子计算机这一计算工具的出现使这种复杂计算成为可能,从而促进了运筹学的发展,使它在实践中发挥的作用日益扩大。

运筹学的主要分支有:对策论、排队论、规划论(线性规划、非线性规划、动态规划)、决策论、搜索论、存储论等。

对策论

game theory

在客观世界中许多带有竞赛或斗争性质的现象,诸如对自然的斗争、军事斗争等等。这些现象都含有三个基本要素:1.局中人,即参加竞争的一方;2.策略,即局中人所选择的行动方案(注意,不是某一步的行动方案,而是自始至终的一个行动方案);3.一局之下的结果,即胜者的所得与败者的损失。

在对策论中,主要是研究这种有竞争现象的数学模型,并且从这种数学模型的研究中探索局中人所应选取的在某种准则下最优的策略。最简单的对策现象是参加竞争的只有一方与对方,一方的赢得正是他方的损失,这种对策称作二人零和对策。前面所说的局中人有更广泛的含意。比如,在控制系统中,系统本身可以采取一种根据外界条件的影响而不断地进行自动调整的最优调整方法(即策略),以使该系统始终处于最佳的工作状态中。在这种对象中,参加的双方都不是人,一方是客观环境,另一方是控制系统本身。

随着实际需要与理论工作的发展,对策论中逐渐增加了许多新的研究内容,例如非零和对策、微分对策等。

博弈论

game theory

即“对策论”。

极小化最大准则

minimax criterion

在进行统计判决时,由于随机因素的影响,某些情况下会产生错误判决。因此,在进行判决时必然要担一定的风险。对每一个策略而言,可能发生的最坏事态会带来一个最大损失。在所有可能的策略中,以选可能发生的最大损失为极小的策略作为选定策略的准则,叫做极小化最大准则。一般说来,按这一准则所选取的策略是较保守的,但它不致于遭受很大的损失,这是极小化最大准则的优点。但也由此带来一定的缺点:有时最坏的情况可能出现的概率很小,致使按极小化最大准则与按其他准则(例如贝叶斯准则)选定的策略可能相差很远。

判决理论

decision theory

判决理论是经营管理理论的一个重要分支。在一个系统中往往有三个因素：客观因素、操作者据此所采取的可能行动(决策)以及采取这些可能的行动所造成的一切后果。将这三种因素加以综合的研究，以便从中找出一种满足实际需要的最好的行动方案(决策方案)，这就是判决理论这门学科的任务。

判决理论的中心内容是统计判决理论。见“统计判决理论”。

策略空间

policy space

某一问题中，可以采取的策略的总体称为策略空间，每一个策略是策略空间的一个点。

策略空间是判决理论中的一个概念。举例来说，一个工厂生产一批数目很大的产品，我们采取抽样的办法从其中抽取 n 件，据此来做出接收或拒绝这批产品的判决。针对这一问题，可以采取许多判决方案。每一个判决方案就称作一个策略。记 r 为抽取的 n 件产品中次品的件数，并且把接收记作“1”，拒绝记作“0”。可以把策略规定为：次品件数过半就拒绝，否则就接收；还可以规定为：次品件数大于 2 就拒绝，否则就接收。在数学上，这两个策略是两个函数，记作 $d_1(r)$ 与 $d_2(r)$ 。于是

$$d_1(r) = \begin{cases} 0, & r > \frac{n}{2} \\ 1, & r \leq \frac{n}{2} \end{cases}$$

$$d_2(r) = \begin{cases} 0, & r > 2 \\ 1, & r \leq 2 \end{cases}$$

当然，还可以制定出更多的策略。这些可以采取的策略的总体就是一个策略空间。

使该系统达到某种意义上的最佳化。

准则函数

criterion function

在一个系统中，评价所采取的策略的优劣，需要根据实际情况提出衡量准则。有些准则可用一个具体的函数来描述，称它为准则函数。准则函数的取值依赖于操作者所采取的策略。如果采取某种策略能使准则函数达到相应于最优的极值，就称这个策略为这种准则的最优策略。

线性规划

linear programming (LP)

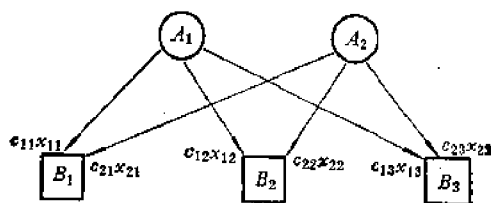
在生产斗争和科学实验中，常常会遇到这样的实际问题：即要求从整体的观点出发，对有关的许多事物进行统一分配、全面安排、合理调度或最优设计等等科学的规划问题。解决这类问题，都必须是在满足了实践所限制的一定条件之下进行的。我们将描述这些条件的数学关系称做约束条件。同时，解决这类问题是存在着许多种不同方案可供选择的，现在我们的目的就是如何从这些可行的方案中选取一个最优的方案。优劣的标准自然是要根据具体问题本身的性质与实际的要求来确定的。描述衡量优劣标准的数量形式称做目标函数。选取最优方案就是一个求目标函数在一定约束条件之下的极值问题。

当约束条件表示为线性等式或线性不等式，而目标函数表示为线性函数（一次齐次式）时的规划问题称为线性规划问题，线性规划就是求解这类问题的理论与方法。

例如有一种物资，有 2 个产地 A_1, A_2 ，其产量依次是 a_1, a_2 ；同时有 3 个销地 B_1, B_2, B_3 ，其销量各为 b_1, b_2, b_3 ，并且从 A_i 地到 B_j 地的单位运价是 c_{ij} ($i=1, 2; j=1, 2, 3$)。现在自然要问如何将这种物资从这 2

能使所花费的总运费 $S \left(S = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^2 c_{ij} x_{ij} \right)$

为最小 (见下图)。



产销流程图

因为从同一产地 A_i 调出的总量与其产量 a_i 应相等, 运往同一销地 B_j 的物资总量与其销量 b_j 应相等, 以及总产量与总销量也应相等。根据这些平衡条件就可以建立这个问题的数学模型: 即要求出一组 (2×3) 个非负数 $x_{ij} (i = 1, 2; j = 1, 2, 3)$, 它们满足约束条件

$$\sum_{j=1}^3 x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2$$

$$\sum_{i=1}^2 x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, 3$$

并使目标函数

$$S = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^2 c_{ij} x_{ij}$$

达到最小值。

单纯形方法

simplex method

单纯形方法是求解一般线性规划的一种基本方法。

单纯形方法的理论根据是: 对一线性规划问题, 其目标函数如果有最小(大)值的话, 则必定是在由约束条件所确定的一个凸图形的某个顶点上达到。

单纯形方法的基本思想是: 首先计算目标函数 S 在凸图形某个已知顶点上的值 S_0 。检验 S_0 是否为最小(大)值, 若不是, 则由此顶

点出发经一系列规定的运算步骤, 可得到另一点, 而使 S 在此点上的值 S_1 较前者 S_0 为小。然后再由这一点出发按预定的步骤可造出一新的顶点, 使 S 在此新顶点上的值 S_1 仍比 S_0 小。到此地步, 又可对它重复上述步骤, 经过有限多次迭代过程, 必可使 S 达到最小(大)值。整个迭代计算过程, 可以将预先规定的迭代步骤编成程序, 由计算机来完成。

非线性规划

nonlinear programming

当我们所考虑的数学规划问题, 如果其约束条件或目标函数不全是线性的话, 就称它为非线性规划问题 (见“线性规划”)。非线性规划就是研究求解这一类问题的理论与方法。

多级判决过程

multistage decision processes

在动态规划中有如下—类问题, 例如一个工厂使用某一型号的设备进行生产, 在使用过程中机器受到磨损。随着机器年令的增长, 每年维修与保养的费用也愈高。于是就发生了这样的问题: 对于已有一定年令的机器, 我们应该保留它还是换掉它, 如果换掉则应买进多大年令的机器最为合算。为确定起见, 譬如考虑时段为 10 年的设备替换问题, 并约定每隔一年观察一次并作出判决是保留还是换掉。这样, 将系统运行过程分为若干个相继的阶段, 而在每一个阶段都要作出判决的过程, 就叫做多级判决过程。

在进行判决的时候, 需要系统的一些必要的信息, 例如设备的使用条件、使用时间、磨损的程度等等, 这些必要的信息叫做状态。

在多级判决过程的某一级, 根据这一级的初始状态, 执行某一种策略。到这一级结束时, 产生一个结束状态。这一级的结束状态就是下一级的初始状态。因此, 如果只从这一级来看, 在某种准则下是最优的策略, 它造成的结束状态对下一级来说可能不是最

有利的。所以,多级判决过程的策略选定,不能单独地孤立地对每一级作出选定,而是要进行通盘考虑,全面规划安排。

状态通常用一组变量的值来表示。

描述状态的变量如果是连续的,这种判决过程叫做连续型多级判决过程。

描述状态的变量如果是离散的,这种判决过程叫做离散型多级判决过程。

描述状态的变量如果是随机的,这种判决过程叫做随机型多级判决过程。

动态规划

dynamic programming

动态规划是解多级判决过程最优化问题的一种数学方法(这里的多级判决过程,可以是无限多级的连续判决过程)。多级判决过程的可以采取的策略的总体,构成一个策略空间。对每一个策略有用数量定量地评定其优劣的准则函数,选定一个策略使相应的准则函数值达到相应于最优的极值,这就是多级判决过程的最优化问题。例如发射一枚火箭,要求在给定的时间内摧毁某个活动目标。现在的问题是如何根据目标的行动,要每隔一个时段或连续地决定一次火箭的行动方向与速度,使它在所给定的时间内确能最有效地摧毁目标。这有效的准则可以是时间最短,或摧毁概率最大等等。所谓动态规划,就是设法解决这类问题的一种方法。

动态规划方法的中心思想是“最佳性原理”。依据这个原理导出一个函数方程,然后从整个过程的终点出发,由后向前一步一步地推到过程的始点,这样逐步地找到最优解。

一般说来,古典的求极值解法的工作量大体上是与分级数成指数关系,而动态规划方法求极值解的工作量大体上与分级数成正比,因此极大地节省了计算工作量。但由于一般情况下每一级可以采取的策略往往是很多的,因此,往往还需要用高速电子计算机计算。

目前,动态规划还没有一个一般的计算方法,只有一些在各种具体情况下的特殊解法。一般采用函数迭代法、策略空间迭代法。

最佳性原理

principle of optimality

动态规划方法是建立在所谓最佳性原理基础之上的。这一原理可以概述如下:

在多级判决过程中,最优策略具有这样的性质,即不论初始状态与初始判决如何,其后相继的判决对于由以前诸级判决所得出的结束状态作为初始状态而言,仍然必须构成最优策略。

这一原理实际上是递推方法,它可以把原来的多级判决过程降级计算,从而极大地减少计算工作量。它的缺点是,由于策略空间的复杂性及需要多级通盘考虑,从而需要很大的计算机存储容量。

排队论

queueing theory

在日常生活中,人们经常遇到各种各样的服务系统,例如车床加工、打电话等。所谓服务系统是由服务机构(车床、电话局)与服务对象(要加工的零组件、打电话的用户)所构成。由于服务对象到来的时刻与对他进行服务的时间(加工零组件的时间、用户通话时间)都是随机的,所以又称之为随机服务系统。当车床较少要加工的零组件过多时,电话局的线路较少要打电话的用户过多时,那么一部分零组件和用户不得不等待服务。这样,由于服务机构过小,不能满足已经到来的服务对象的需要时,就造成了拥挤排队现象。

用来刻画随机服务系统的数量指标主要有:等待时间、排队长度、忙期长度(服务机构连续繁忙时期的长度)等。排队论是通过对于服务对象到来及服务时间的统计研究,得出这些数量指标的统计规律,然后根据这些规律来改进服务系统的结构或重新组织被服务

对象,使得服务系统既能满足服务对象的需要,又能使机构的费用最为经济或某种指标最佳。

在系统设计的最优化问题、可靠性问题和计算机设计问题中,都有服务机构和服务对象问题,都要用到排队论。

马尔科夫过程

Markov process

对一个随机运动系统,自然要从它所能取的一切状态和状态之间的转移规律来研究它。如果在已知系统“现在”处于某状态的情况下,系统“将来”所处的状态与它“过去”的历史状况无关,则说此系统具有“无后效性”。象原子的连锁分裂、布朗运动等就具有这种性质。所谓马尔科夫过程就是用来描述这类系统的一种数学模型。用数学的话来说,马尔科夫过程是这样一类随机过程:在已知它于 t_0 时刻值的条件下,关于 $t > t_0$ 事件的条件概率与它在时间 $t < t_0$ 所取之值独立无关。

对于马尔科夫过程,可以按照状态、时间是离散还是连续来进行分类。特别称状态与时间皆为离散的马尔科夫过程为马尔科夫链。

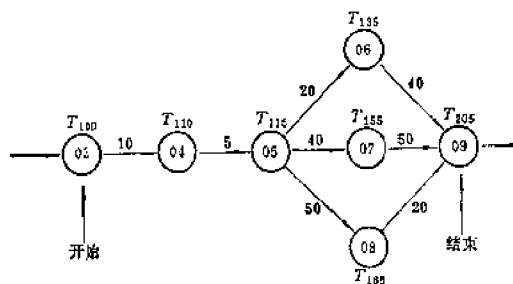
目前,马尔科夫过程在最优控制理论、排队论等许多学科中,已经有了不少应用。在系统工程中,它被用来作为随机多级判决过程的一种数学模型。

计划评审技术

program evaluation and review technique (PERT)

这是一种经营管理方法。在实现一个大系统的过程中,往往要完成大量的任务,它们各自需要一定的时间,互相有联系,有的任务必须等其他任务完成之后才能开始,而它的完成又是另外一些任务开始的前提。“计划评审技术”就是解决这种大量任务安排管理的方法,以使整个工程能以最短的时间和最少的投资去完成。它通常有三个步骤:

1. 按照规划画出从现在开始到完成某一任务为止的流程图,叫做“PERT网络”;
2. 估算完成每一任务的作业时间;
3. 分析计算任务的安排以及可能的回转余地。下面的图就是一个简单的PERT网络。



PERT网络

图中03、04、...表示任务的编号,任务之间的箭头表示必须进行的作业顺序,旁边所注的数字为作业所需的天数。我们所考虑的问题从03开始,到09结束。03边上的 T_{100} 表示在此以前,工程已进行了100天,依此类推。PERT就是通过对网络的分析计算来管理整个系统的施工进程的。

关键路方法

critical path method (CPM)

在PERT网络中,从某个任务到另一任务之间,如果存在着几条平行路径时,其中必有一条所需的时间最长,叫做关键路径。如在“PERT”图中的 $05 \rightarrow 07 \rightarrow 09$,需时90天,是最长的一条,就是关键路径。从05到09的工程进度,决定于关键路径。总体部门如果调整人力、物力,缩短关键路径上的项目的所需时间,就可以缩短整个工程的进度。此外,由于其他平行路径(如从05到06,从05到08)所需的时间较短,在这些路径中的作业,如果放慢进度能够节约人力和物力,则可以在一定范围内加以调整,而不影响工程的总进度。这种以关键路径为参考,对整个工程各条平行路径的作业时间进行统筹调整,以节约人力和物力,并尽量缩短整个工程进度的方法,叫做关键路方法。

英 文 索 引

A		页码	multistage decision processes	23-17
air traffic control system		23-6	N	
analog simulation		23-13	nonlinear programming	
anti-ballistic missile system		23-7	O	
artificial intelligence		23-11	operational research (OR)	
B			optimization of system design	
block diagram of system		23-2	output	
C			P	
command and control system		23-6	physical model	
criterion function		23-16	policy space	
critical path method (CPM)		23-19	principle of optimality	
D			program evaluation and review	
data management system		23-4	technique (PERT)	
decision theory		23-16	Q	
deterministic model		23-13	queueing theory	
digital simulation		23-13	R	
dynamic programming		23-18	radar information network	
E			range safety system	
early warning system		23-5	S	
G			semi-automatic ground environment	
game theory		23-15	(SAGE)	
H			simplex method	
human information-processing system		23-11	simulation equipment	
hybrid analog-digital simulation		23-13	simulation of manned systems	
I			spacecraft tracking system	
industries process control system		23-5	space instrumentation and command	
information acquisition		23-9	network	
information flow chart		23-2	stochastic model	
information processing		23-9	subsystem	
information system		23-4	system engineering	
information transmission		23-9	systems engineering tools	
L			system environmental simulation	
linear programming (LP)		23-16	system environments	
M			system model	
management system		23-5	system performance	
management theory		23-15	system reliability	
man-machine system		23-11	system simulation	
Markov process		23-19	system testing	
mathematical model		23-13	T	
minimax criterion		23-15	tracking and data relay satellite system	
missile trajectory measurement system		23-7	(TDRSS)	
			W	
			weapon control system	